

가변용량 압축기를 적용한 에어컨의 냉방운전 시 응축 및 증발온도 특성

권영철^{*}, 전중균¹

Temperature characteristics of condenser and evaporator of Air-conditioner applying variable capacity compressor under cooling condition

Young-Chul Kwon^{*} and Chong-Keun Chun¹

요 약 본 연구에서는 냉방운전 시 가변용량방식의 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 냉방능력과 증발기 및 응축기의 온도특성을 조사하기 위해 압축기 운전율(10가지)과 실내의 온도(16가지)의 변화에 따른 시스템의 운전특성을 실험적으로 조사하였다. 시스템의 운전특성은 칼로리미터를 이용하여 측정되었다. 냉방능력은 실외온도가 낮아질수록 실내온도가 증가할수록 더 큰 값을 그리고 압축기 운전율이 증가할수록 냉방능력은 선형적으로 증가하였다. 응축온도는 실외온도 변화에 증발온도는 실내온도 변화에 더 민감하였다. 또한 압력-엔탈피선도를 이용하여 사이클의 운전특성을 분석하였다.

Abstract In order to investigate the cooling capacity of an air-conditioner applying a variable capacity compressor and the temperature characteristics on a condenser and an evaporator, the experiment on the operation characteristics of the air-conditioner was performed along a compressor operation ratio and an indoor/outdoor temperatures, under a cooling operation mode. The system characteristics were measured by the psychrometric calorimeter. The cooling capacity increased with decreasing the outdoor temperature and increasing the indoor temperature. Also, it increased with increasing the compressor operation ratio. The temperature of the condenser was more sensitive for the variation of the outdoor temperature and the temperature of the evaporator was more sensitive for the variation of the indoor temperature. The operation characteristics of the cycle used in this present were also analyzed by a pressure-enthalpy chart.

Key Words : Cooling, Condenser, Evaporator, Variable capacity, Compressor

1. 서 론

삶의 질의 향상과 건축물의 고급화, 복합화의 추세에 따라 공조기의 사용이 날로 증가하고 있는 추세이다. 특히, 에어컨과 같은 냉동 공조기기의 급격한 증대로 국내 하절기 전력공급에도 많은 어려움이 있어 정부에서는 냉동 공조기기의 고효율화를 유도하는 정책을 장려하고 있다. 에너지 절약이 강조됨에 따라 에어컨의 냉난방 성능과 전력 소비에 가장 큰 영향을 미치고 있는 압축기의 성능개선을 위해 다양한 압축방식 및 형태를 가진 새로운 압축기들이 소개되는 등 압축기의 개발에 따른 효율향상

이 중요시되고 있다. 일정 냉방능력을 유지하도록 설계된 정속형 공조기는 냉방기간 중 시간에 따라 연속적으로 변하는 외기부하에 적절히 대응하지 못하여 실내온도가 설정온도에 도달하면 압축기의 운전이 정지되고 외기부하의 증가에 의해 다시 실내온도가 변하면 압축기가 운전되는 on-off 운전방식을 갖는다. 압축기의 종류에 따라 약간 차이가 있지만 모터 기동시 토크는 운전시의 약 2~3배에 이르므로 시동 및 정지운전에 따른 소비전력 증가가 공조기의 운전비용을 증대시키는 주원인이 된다. 따라서 외기부하에 적절히 대응하고 냉난방기능을 완전히 수행하기 위한 방법으로 가변속 압축기를 사용한 시스템이 확대되고 있는 추세이다.

정속형 히트펌프의 계절성능계수를 측정하여 에너지

¹선문대학교 기계공학부

^{*}교신저자: 권영철(yckweon1@sunmoon.ac.kr)

절약의 관점에서 인버터 시스템과 비교한 실험결과 인버터 열펌프 시스템은 전체 운전시간의 22%가 저속에서 운전되어 단속운전손실을 11%정도 감소시킬 수 있었으며, 정속형 시스템과 비교하여 24%의 에너지 절감효과가 있다고 하였다[1]. 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절약효과가 약 26.7%에 이른다고 보고하였다[2]. 또한 시뮬레이션을 통한 멀티형 히트펌프 시스템에 대한 냉난방 성능예측에 관한 연구를 수행하였고[3,4], 압축기 제어를 위해 멀티형 공조 시스템의 저압축 압력을 사용하였다[5]. 그리고 압축기 입구 과열도를 사용하여 멀티형 공조 시스템의 압축기를 제어하는 연구를 하였다[6]. 가변용량 방식은 비선형과 선형 방식으로 구분할 수 있다. 비선형 방식은 부하의 경/중에 따라 2단계 이상 또는 연속적으로 자동 변화시킬 수 있으나, 부하에 따라서 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 없는 방식으로, 2압축기형, 극속변환, 그리고 실린더 언로드 방식 등이 있다. 한편 선형 방식은 부하에 따라 선형적으로 압축기의 용량을 제어할 수 있는 방식으로서, 회전수 제어형과 부하에 따라서 실린더 압축 및 비압축 과정을 제어하는 로딩방식이 있다[7].

실험연구에 적용된 압축기는 일반적인 정속형 또는 인버터 방식과는 달리 상부 스크롤의 운전시간을 조절하여 시스템 성능을 변환하는 방식의 가변용량형 스크롤 압축기이다. 본 연구의 목적은 냉방운전 시 가변용량형 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 성능을 최적화하여 냉방능력을 향상시키기 위한 고효율화 연구의 일환으로 압축기 운전율(압축기 기동과 정지시간 비)과 실내외 온도의 변화에 따른 증발기 및 응축기의 온도특성을 조사하는데 있다. 가변용량 압축기는 실내온도, 실외온도, 운전율, 증발온도, 응축온도 등 여러 운전변수에 따라 변화하므로 본 실험에서는 다양한 압축기 운전율과 온도조건에서 전자팽창밸브를 이용하여 가변용량형 압축기에 의한 시스템의 최대능력을 확인하고, 또한 시스템 운전특성과 증발 및 응축온도 변화를 연구하였다. 이는 가변용량 방식을 채용하는 시스템 에어컨 고효율화를 위한 증발기 및 응축기의 운전 특성자료로 활용 가능할 것이다. 이를 위해 여러 가지 실내외 온도조건에서 그리고 압축기의 운전율을 변경하면서 시스템의 응축 및 증발온도를 측정하였고 또한 실내외온도 변화에 따른 가변용량형 시스템 에어컨의 사이클 거동을 압력-엔탈피선도를 이용하여 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 가변용량형 시스템 에어컨의 냉방운전 시

증발 및 응축온도 거동과 사이클의 특성을 연구하기 위하여 공기엔탈피식 칼로리미터를 이용하였다[8]. 시스템 에어컨의 실내/실외기는 항온항습실의 실내측 및 실외측에 각각 설치되었으며, 각 실의 전/습구온도가 설정값의 최대 허용범위 내($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$)에서 유지되도록 제어하였다. 본 실험에 사용된 시스템 에어컨은 4방향 천정부착형으로 압축기와 실내기에 냉매(R-22)유량을 조절하여 공급하는 전자팽창밸브, 가변용량형 스크롤 압축기, 그리고 실내외 열교환기로 구성되어 있다. 실내기는 열교환기, 송풍기, 모터, 모세관 등으로 구성되어 있으며, 실내 열교환기(증발기)는 1.4피치 슬릿핀으로 2단 12열로 구성되어 있다. 모세관은 열교환기 전체의 온도분포를 맞추기 위하여 내경 2.0×500mm와 내경 2.0×300mm의 2가지로 설치하였다. 실외기는 압축기, 열교환기, 어큐뮬레이터, 사방밸브, 전자팽창밸브, 송풍기, 모터 등으로 구성되어 있으며, 실외 열교환기(응축기)는 1.7피치 2단 48열로 구성되어 있다. 압축기의 가변용량을 위해 전자팽창밸브 개도는 0에서부터 2000 스텝까지 작동하였다.

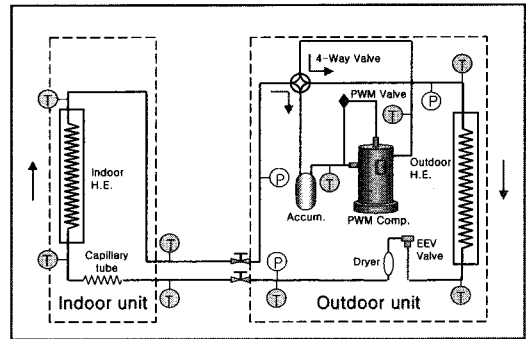


그림 1. 시스템 에어컨의 사이클 개념도

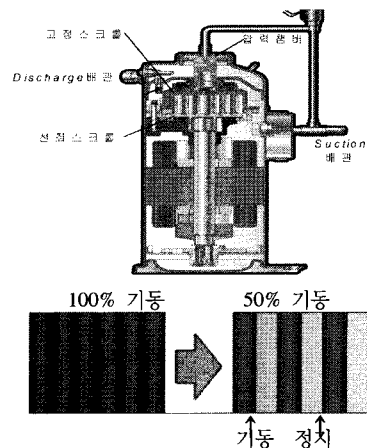


그림 2. 가변용량 스크롤 압축기의 구조 및 작동개념

표 1. 실내외 온도조건

Indoor Side [dry/wet temp.(°C)]	Outdoor Side [dry/wet temp.(°C)]
21.0±0.3 / 14.6±0.2 32.0±0.3 / 23.6±0.2	21.0±0.3 / 13.1±0.2
	29.0±0.3 / 19.5±0.2
	35.0±0.3 / 24.0±0.2
	43.0±0.3 / 30.0±0.2
21.0±0.3 / 14.6±0.2	21.0±0.3 / 13.1±0.2 43.0±0.3 / 30.0±0.2
24.0±0.3 / 17.0±0.2	
27.0±0.3 / 19.5±0.2	
32.0±0.3 / 23.6±0.2	

그림 1은 본 연구에 사용된 시스템 에어컨의 개략적인 사이클과 열전대 및 압력계의 계측위치를 나타내고 있다. 실험에 사용된 가변용량형 스크롤 압축기(그림 2)는 압축기 내 스크롤의 운전과 정지시간의 조절로부터 냉매 토출량을 제어하여 압축기의 용량을 변화시킨다. 냉방운전 시에는 압축기에서 냉매가 압축된 후 실외기로 간다. 실외기에서 응축된 냉매는 그 후 팽창장치에서 팽창된 후 실내기에서 증발과정을 거친 후 사방밸브를 지나 압축기로 유입된다. 본 시스템 에어컨은 5RT급으로 압축기와 실내기에 냉매유량을 조절하여 공급하는 전자팽창밸브 및 가변용량형 스크롤 압축기, 실내외 열교환기로 구성되어 있다. 냉방운전 시 증발 및 응축온도 특성을 분석하기 위하여 실내기 및 실외기 공기온도 센서로부터 정보를 입수할 수 있으며, 압축기의 운전주기 및 전자팽창밸브의 개도를 조절할 수 있는 컨트롤러를 제작하여 실험하였다. 압력은 압축기 입구와 출구, 전자팽창밸브 출구에서 측정하였다. 열교환기를 지나는 냉매의 압력강하와 배관 내 압력강하는 작기 때문에 실험분석에서 무시하였다. 또한 측정한 온도는 압축기 입출구, 전자팽창밸브 입출구, 열교환기 입출구 및 중간지점과 실내기와 열교환되는 공기의 입출구 건습구 온도이다. 시스템의 소비 전력은 전력계를 이용하여 측정하였다. 실험조건은 표 1과 같으며, 실내외의 16가지 온도조건에서 운전율을 50%에서 100%까지 5%단위로 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 각 온도조건과 운전율에서 전자팽창밸브의 개도를 조절하면서 시스템 에어컨이 최대 냉방성능을 나타내는 응축기의 온도와 증발기의 온도를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 3은 실내외 온도를 각각 21°C로 고정한 경우에 실외온도(21, 29, 35, 43°C)와 실내온도(21, 24, 27, 3

2°C)를 변화할 때에 스크롤 압축기의 운전율에 대한 시료의 최대 냉방능력을 나타낸다. 측정된 최대 냉방능력은 압축기 운전율이 증가할수록 선형적인 증가를 보여준다. 이는 본 연구에 적용된 가변용량 스크롤 압축기가 현재 실험범위 내의 운전율(50%~100%)에서 선형용량제어(linear capacity control)로 운전되고 있음을 의미한다. 또한 설정된 실내외 각각의 온도조건에 따라 최대 냉방능력의 변동 추이는 서로 다른 증가 경향을 보여준다. 즉, 운전율이 증가할수록 능력증가폭 변화는 실외온도의 경우보다 실내온도 변화에 대해 더 크게 나타난다. 실내온도가 21°C로 고정된 경우, 실외온도가 낮아질수록 냉방능력은 증가하였다. 실외온도가 43°C에서 21°C로 낮아질 때 압축율 50%에서 냉방능력은 약 1,500W 증가를 그리고 압축율 100%에서 약 2,000W 증가하였다. 이는 실외온도가 낮아짐에 따라 응축온도와 압력의 감소로 압력비가 낮아지게 되어 압축일은 감소하고 증발기 입구측 엔탈피는 증가하여 냉방능력이 증가되기 때문이다. 실외온도가 21°C로 고정된 경우, 실내온도가 증가할수록 냉방능력은 증가하였다. 실내온도가 21°C에서 32°C로 높아질 때 압축율 50%에서 냉방능력은 약 2,200W 증가를 그리고 압축율 100%에서 약 4,000W 증가하였다. 이는 실내온도가 높아짐에 따라 증발온도가 상승하게 되어 냉방능력이 증가되기 때문이다.

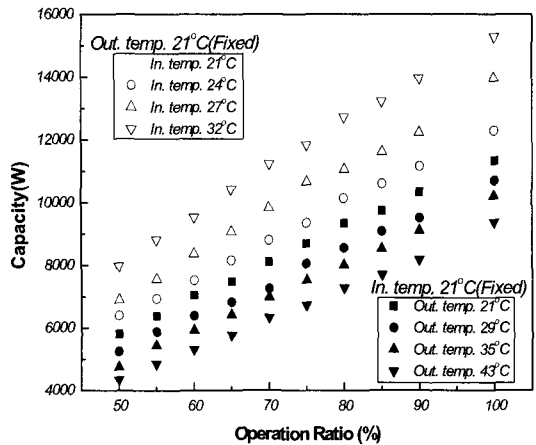


그림 3. 실내외온도 및 운전율 변화에 따른 최대 냉방능력의 거동

그림 4, 5는 실내온도를 각각 21, 32°C로 고정한 경우의 실외온도와 운전율 변화에 따른 응축온도의 변화를 나타낸다. 실내온도 변화에 대한 응축온도의 변화는 크지 않으나 실내온도가 높은 경우(32°C)에 운전율에 따른 응축온도의 거동은 낮은 실내온도(21°C)와 다소 다르다. 또

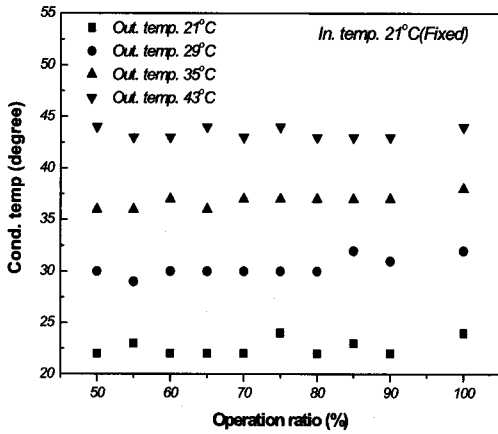


그림 4. 실외온도 및 운전율 변화에 따른 응축온도의 거동 (실내온도 21°C고정)

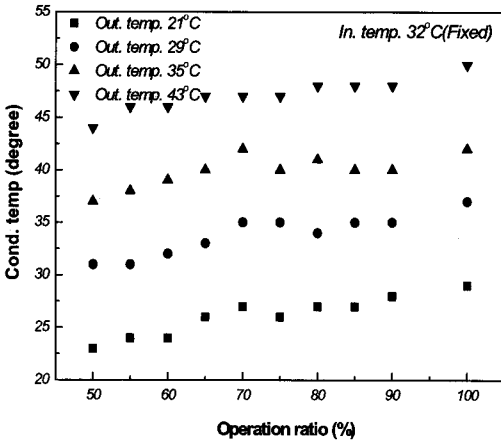


그림 5. 실외온도 및 운전율 변화에 따른 응축온도의 거동 (실내온도 32°C고정)

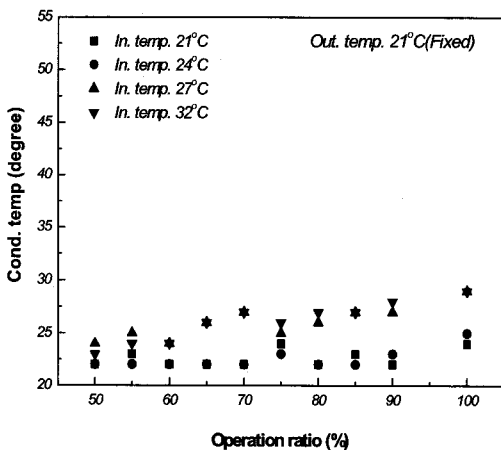


그림 6. 실내온도 및 운전율 변화에 따른 응축온도의 거동 (실외온도 21°C고정)

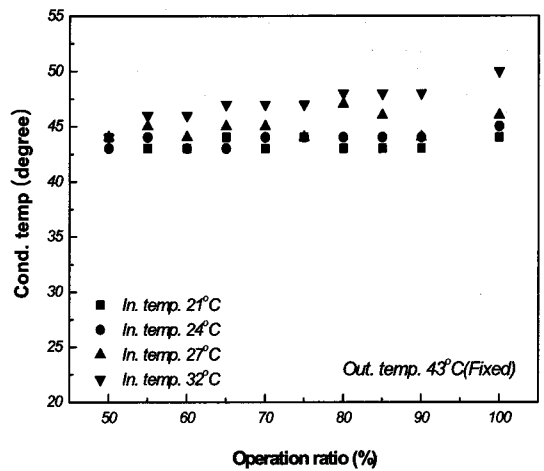


그림 7. 실내온도 및 운전율 변화에 따른 응축온도의 거동 (실외온도 43°C고정)

한 응축온도는 실외온도 상승에 따라 증가하였다. 실내온도 21°C(그림 4)의 경우에 응축온도는 실외온도의 약 1°C~2°C 내에서 거동하였다. 그러나 실내온도 32°C(그림 5)의 경우에 실외온도보다 약 2°C~6°C정도 높게 유지되었으며, 운전율이 증가함에 따라 응축온도의 증가폭이 점차 늘어났다. 그림 6, 7은 실외온도를 각각 21, 43°C로 고정한 경우의 실내온도와 운전율 변화에 따른 응축온도의 변화이다. 실외온도 변화에 대한 응축온도의 변화는 그림 4, 5와는 달리 크다. 실외온도가 21°C(그림 6)일 때보다 43°C(그림 7)일 때 응축온도가 높다는 것을 알 수 있지만 실내온도의 변화는 주어진 실외온도의 약 1~7°C 내에서 거동을 한다. 즉, 응축온도는 실내온도와 운전율이 증가할수록 증가하였다. 이는 응축기가 실외와 직접 열교환을 하므로 실외온도에 더 많은 영향을 받기 때문이다. 그리고 최대 냉방능력을 획득하기 위한 전자팽창변의 조절을 통해 전체적인 과냉도 변화가 일정범위 내에서 결정되기 때문에 실외온도와 유사한 경향을 보임을 알 수 있다. 또한 압축기의 운전율이 증가하게 되면 압축기의 증기냉매의 압축비가 커지고 압축기의 토출온도가 증가하게 되므로 이로 인해 응축기의 온도와 압력이 증가하게 되는 것이다.

그림 8, 9는 실내온도를 각각 21, 32°C로 고정한 경우의 실외온도와 운전율 변화에 따른 증발온도의 변화이다. 증발온도는 실외온도가 증가함에 따라 약 1~2°C 내에서 증가하였지만, 운전율이 증가함에 따라 증발온도는 약 4~6°C 내에서 선형적인 감소를 보였다. 그리고 증발온도는 실외온도 변화보다 실내온도 변화에 더 크게 영향을 받는 것으로 관찰되었다. 그림 10, 11은 실외온도를

각각 21, 43℃로 고정한 경우의 실내온도와 운전율 변화에 따른 증발온도의 변화이다. 실외온도 21℃(그림 10)의 경우에 실내온도를 증가함에 따라 증발온도는 약 5~8℃의 증가폭을, 운전율이 증가함에 따라 증발온도는 약 4~5℃의 감소폭을 보였다. 실외온도 43℃(그림 11)의 경우에 실내온도를 증가함에 따라 증발온도는 약 7~10℃의 증가폭을, 운전율이 증가함에 따라 증발온도는 약 4~7℃의 감소폭을 보였다. 그림으로부터, 증발기는 실내온도 변화에 직접적인 영향을 받으므로, 실내온도를 고정한 경우에 증발량의 변화는 거의 일정하다. 따라서 실외온도의 변화에 따른 증발온도의 변동 폭은 크지 않다. 그러나 실외온도를 고정한 경우에 실내온도가 증가하게 되면 증발기의 열흡수량이 증가하게 되어 증발온도가 상승하게 된다. 반면 운전율이 증가함에 따라 냉매유량이 증가하고 이에 따른 전자팽창변의 개도확장으로 증발기의 온도와 압력감소로 증발온도가 낮아지게 된다.

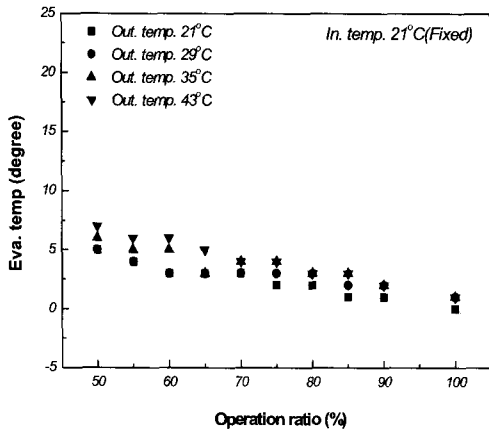


그림 8. 실외온도 및 운전율 변화에 따른 증발온도의 거동 (실내온도 21℃고정)

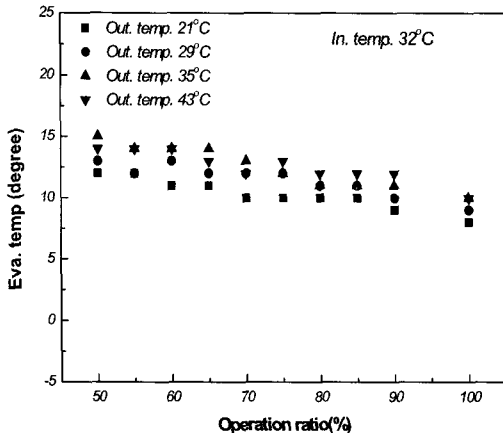


그림 9. 실외온도 및 운전율 변화에 따른 증발온도의 거동 (실내온도 32℃고정)

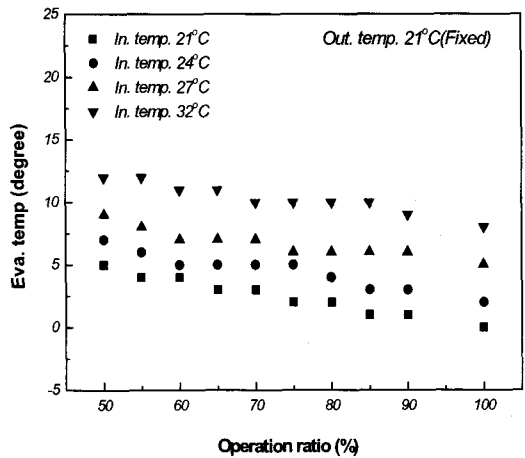


그림 10. 실내온도 및 운전율 변화에 따른 증발온도의 변화 (실외온도 21℃고정)

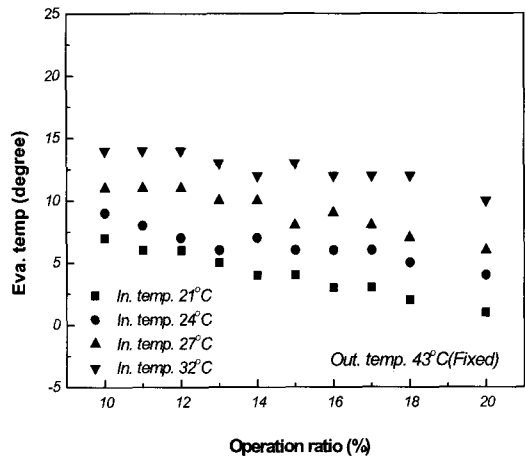


그림 11. 실내온도 및 운전율 변화에 따른 증발온도의 변화 (실외온도 43℃고정)

그림 12, 13은 각각 실외 및 실내온도 변화에 대한 응축온도와 증발온도의 거동(운전율 100%)을 압력-엔탈피 (p-h)선도에 나타낸다. 그림 12는 실내온도 27℃인 경우로, 실외온도가 21℃에서 43℃로 높아짐에 따라 응축압력은 약 8.2bar의 증가를, 응축온도는 25℃에서 46℃로 크게 증가하였으나, 증발압력과 증발온도의 상승은 상대적으로 미미하였다. 즉, 응축압력은 증가하고 응축기 출구에서의 엔탈피는 감소하였다. 그림으로부터, 실외온도가 21℃에서 43℃로 증가하는 경우에 증발기의 엔탈피 감소는 약 26kJ/kg으로 시료의 냉방능력은 크게 줄어들며 반면 압축기의 압축일량은 약 52kJ/kg 정도 증가하여 그 결과 에너지효율이 크게 낮아짐을 예측할 수 있다. 그

림 13은 실외온도 35°C인 경우로, 실내온도가 21°C에서 32°C로 증가함에 따라 증발압력은 약 1.7bar의 증가를, 증발온도는 1°C에서 9°C로 증가하였으나, 응축압력과 응축온도의 상승은 상대적으로 미미함을 보여준다. 그림으로부터, 실내온도가 21°C에서 32°C로 증가하는 경우에 응축기의 엔탈피 감소는 약 0.3kJ/kg이고 압축기의 압축일량은 약 1.3kJ/kg 감소하였다. 그 결과 그림 12의 실내온도 고정, 운전조건과는 달리 실외온도가 고정되는 경우에 시스템의 에너지효율의 변화는 크지 않음을 예측할 수 있다. 이로부터 가변용량 스크롤 압축기가 적용된 에어컨의 냉방운전 시 실내외 온도변화에 따른 사이클의 변화 및 적용성을 확인하였다.

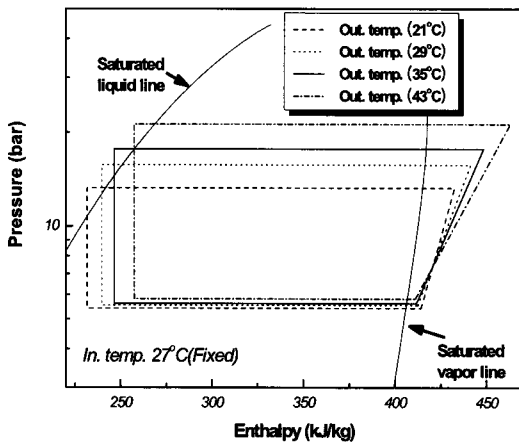


그림 12. 실외온도에 따른 p-h선도 (실내온도 27°C(고정), 운전율 100%)

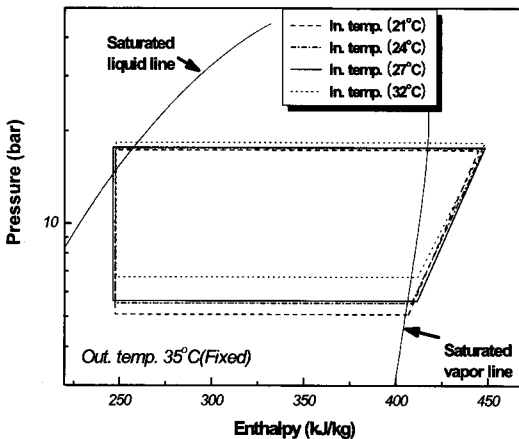


그림 13. 실내온도에 따른 p-h선도 (실외온도 35°C(고정), 운전율 100%)

4. 결론

본 연구의 목적은 냉방운전 시 가변용량형 스크롤 압축기를 적용한 시스템 에어컨의 성능을 최적화하여 냉방능력을 향상시키기 위한 고효율화 연구의 일환으로 압축기 운전율과 실내외 온도의 변화에 따른 증발기 및 응축기의 온도특성을 조사 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시스템의 최대 냉방능력은 실외온도와 실내온도 변동범위 내에서 각각 약 30%와 80% 증가하였다. 또한 압축기 운전율이 증가할수록 냉방능력은 선형적으로 증가하였다. 이는 가변용량 압축기가 선형용량제어로 운전됨을 의미한다.
- 2) 응축온도는 실외온도 22°C 변화에 약 20°C의 증가폭을 보였고 실내온도와 운전율의 변화에 따라 1~7°C의 범위에서 거동하였다. 증발온도는 응축온도 거동과는 다른 경향을 보이는데, 실내온도 11°C 변화에 증발온도는 약 7°C의 증가폭을, 실외온도의 변화에는 2°C 이내에서 거동하였다. 운전율의 변화에 대한 증발온도 변화는 응축온도와는 반대로 4~7°C의 범위에서 감소하였다.
- 3) 압력-엔탈피선도로부터 실외온도가 증가하는 경우에 냉방효과가 감소되고 압축일이 증가하여 에너지효율의 감소를 예측할 수 있으나 실내온도가 증가하는 경우에는 에너지효율의 변화가 뚜렷하지 않았다.

참고문헌

- [1] V. Bahel et al., "An Assessment of Inverter Driven Variable Speed Air Conditioners: Sample Performance Comparison with a Conventional Systems", ASHRAE Trans., 95, pp. 455-464, 1989.
- [2] C. K. Rice et al., "Comparative Analysis of Single and Continuously Variable-Capacity Heat Pump Concepts", Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, pp. 57-65, 1985.
- [3] D. Y. Han et al., "Design and performance prediction of the multi-type heat pump system", Proceeding of the SAREK, pp. 515-520, 1999.
- [4] 김영재 외., "R410A를 사용하는 멀티에어컨 시스템을 위한 사이클 시뮬레이션 프로그램 개발", 한국산학기술학회논문지, 제3권, 제3호, pp. 210-215, 6월, 2002.
- [5] S. Y. Kim et al., "Capacity modulation of a multi-heat pump system using PID control with

- fuzzy logic", SAREK, 13, pp. 810-817, 2001.
- [6] J. M. Choi et al., "Experimental study on superheat control of a variable speed heat pump", SAREK, 13, pp. 233-241, 2001.
- [7] 권영철 외., "용량가변 방식을 적용한 압축기의 성능 연구", 한국에너지공학회지, 제13권, 제3호, pp. 214-218, 9월, 2004.
- [8] 산업기술시험원, "선문대학교 공기엔탈피식 열량측정기 성능평가사업", pp. 3-27, 7월, 2001.

권영철(Young-Chul Kwon)

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 9월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한전 전력연구원 (선임연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 부교수

<관심분야>
냉동공조, 열전달

전종균(Chong-Keun Chun)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1985년 12월 : University of California, Los Angeles (공학석사)
- 1991년 6월 : University of California, Los Angeles (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 교수

<관심분야>
응용역학, 소음/진동제어